

## Berendezés tárolt gyümölcsök és zöldségfélék légzésintenzitásának a vizsgálatára

A zöldségfélék tárolása a közéletmezés fontos átmeneti mozzanata. A légzéses  $\text{CO}_2$  jó élettani mutató lehet a tárolás közben bekövetkező belső változások ellenőrzésére még akkor is, ha METLICKIJ [4] véleménye szerint a légzésintenzitás meghatározása alapján nem következettethetünk a tárolhatóságra. Ez abban a tekintetben igaz ugyan, hogy a termény szövettani szerkezete és sok más tényező is befolyásolja a tárolásra való alkalmasságot, de minél élénkebb a légzés, annál gyorsabban csappan meg a sejtekben raktározott szénhidrát. Egyszerű érzékszervi megfigyelések is mutatják, hogy a sokáig tárolt alma, narancs, grape-fruit stb. édes íze néha szinte teljesen megszűnik, sőt ez tapasztalható a zöldségféléknél és a cukorrépánál is. A belső tartalék mennyiségi és részben minőségi változásainak nyomon követése, sőt talán óvatos előre jelzése is lehetséges tehát, amennyiben kényelmesen alkalmazható légzésmérő birtokában vagyunk.

Aránylag kevés ilyen módszer ismeretes a terménytárolás gyakorlatában. Ezt fejlesztendő, hozzáfogtunk egy vizsgálatssorozathoz, melynek egyik eredményét közöljük. A feldolgozás csupán arra szorítkozik, hogy a légzésvizsgálat új módszerét [3] olyan gyakorlati példán mutassa be néhány mérési eredménnyel együtt, aminőt a szakirodalom [5] nem tart különösebben számon. A közölt adatok tehát minden bizonnyal nem egyszerű ismétlései többé-kevésbé ismerteknek.

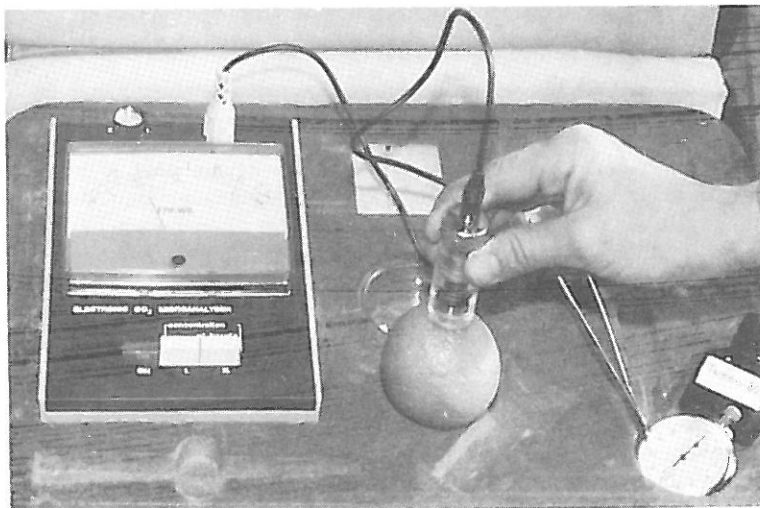
### Anyag és módszer

Július végi vetésből származó és szabadtéri prizmában tárolt fekete téliretek (Erfurti kerek fekete) közepesenél kisebb példányait vizsgáltuk 1983. február hó folyamán. Összesen mintegy 50 mérést tudtunk elvégezni a retkek különböző részén, mégpedig a gumó csúcsa, oldala és a gyökérbe átmenő alsó tájékán. Mértük a sértetlen bőrszöveten keresztül felületegységenként ( $1 \text{ cm}^2$ ) kibocsátott  $\text{CO}_2$  mennyiségét időegységre (1 percre, illetve órára) átszámítva. Mértük továbbá ugyanezen helyeken létesített  $1\text{—}2 \text{ cm}^2$  sima metszésfelületeken a szabadba tett szövetek sebzési légzését is [1, 2].

A légzésvizsgálatot ún. kétdimenziós mikrorespirométerrel hajtottuk végre, melynek szabadalmi leírásai [3] jellemző igénypontként hangsúlyozzák, hogy a  $\text{Ba(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{BaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  reakció nem folyadékterben, hanem kvázi-kétdimenziós folyadékfilmben megy végbe. Ezzel az érzékenységet tetemesen fokoztuk, kb.  $10^{-7} \text{ g CO}_2$  mérés határig. A reagensfolyadék filmjében a légzésből származó  $\text{CO}_2$  karbonátképződést hoz létre, melynek arányában változik az elektromos ellenállás. Ezt a változást nagy érzékenységsű műszer  $\text{CO}_2$ -re kalibrált skáláján olvassuk le (1. ábra). Ily módon megkapjuk a vizsgált élő növényi anyag felületegységen keresztül a mérési idő alatt kibocsátott  $\text{CO}_2$  mennyiségét. Jelen vizsgálataink esetében  $10\text{—}30 \text{ s}$  időtartamot vett igénybe egy-egy mérés, amit azután egységnyi időtartamra számítottunk át.

### Eredmények és megvitatás

A vizsgált *Raphanus* faj gömb alakú húsos gumója, amelynek felső része a hipokotil, alsó tájéka pedig a gyökérnyak megvastagodásával fejlődött, morfológiai és fiziológiai tekintetben heterogén képződmény. Ez eléggé jellemzően megmutatkozott a légzésmérések kapcsán. Ugyanis a gumó csúcsi, középső és gyökér felőli része eltérő intenzitással lélegzik, ami az anyagcsere különbözőségére utalhat. Ezt azonban fenntartásokkal mondjuk, mivel a háromféle



1. ábra

Nagyérzékenységű respirométer. A henger alakú érzékelő szonda (szenzor) segítségével a gyümölcs felületének egyik pontján a  $\text{CO}_2$ -kibocsátást méri

rész szövetei eltérő alkotásúak, sejtjei nem azonos méretűek, és a különböző alakú (parenchimatikus, prozenchimatikus stb.) sejtek számaránya is eltérő. Ennélfogva a szövetszerkezet feltétlenül befolyásolja a  $\text{CO}_2$ -termelés mennyiségét. Azonban a szövetek anatómiai szerkezetét is az anyagcsere alakította — a genetikai kódrendszer irányításával — a mindenkor körülmények közepette, ezért alapjában mégsem hibás az anyagcsereire vonatkoztatnunk a légzésbeli eltéréseket. Tulajdonképpen a légzési hányados, vagyis a  $\text{CO}_2$  és  $\text{O}_2$  térfogati aránya mutatná világosabban az anyagcsere minőségi eltéréseit a szövettájak között, de csak abban az esetben, ha csakugyan a légzési szubsztrátum változásait jeleznék, és nem befolyásolná a szövetek eltérő tömörsége, illetve lazább felépítése. Ezt azonban csakis apró vagy nagyon vékony szövetdarabokkal, illetve metszetekkel lehet elérni, vagyis természetellenes módon.

Ezek előrebocsátásával mérlegeljük a táblázat adatait. A szignifikancia tekintetében pedig figyelembe kell vennünk, hogy egy-egy ismétlés, amennyiben nem közvetlen egymást követően történik, már nem csupán a véletlen szórás miatt különbözhet kisebb-nagyobb mértékben, hanem a sebzés okozta reakciók is módosítják az eredményt [2] még abban az esetben is, ha a legnagyobb ingadozásokkal járó kezdeti fázis lezajlását kívárnjuk. Érzékeny metodika megmutatja, hogy sebzett felületek légzésmenete sokkal kevésbé egyenletes, mint valamely mesterséges összehasonlító  $\text{CO}_2$ -forrás (etalon) tetszés szerint beszabályozható gázkibocsátása. Emiatt csak a középérték ( $\bar{X}$ ) ingadozását érzékeltetjük a standard deviációval

(s) és a variációs koefficienssel (CV%), de a szignifikáns differencia szokásos feltüntetésétől el kell tekintenünk, mivel ebben az esetben nem egyedül a véletlen eltérés, hanem fiziológiai eredetű ingadozás ugyancsak részt vesz az eltérések okozásában.

Az 1. táblázat adatairól leolvasható bizonyos polaritás; a gumó alsó darabján, ahol az hirtelen átmegy a vékony gyökérbe, a légzés 25%-kal intenzívebb, mint a felső darabon, a legömbölyödő csúcs közelében. Ez a sarkitottság azonban eredhet abból is, hogy a két ellentétes

1. táblázat

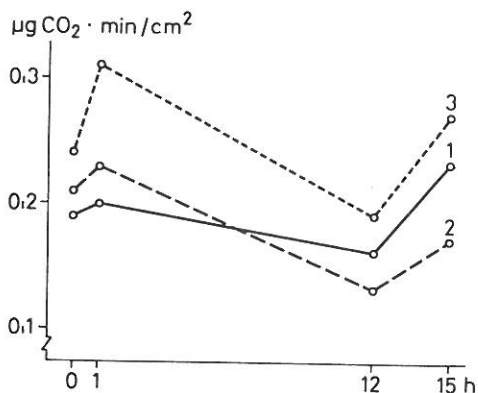
A tárolt retek gumó különböző részének légzésintenzitása  
(Bőrszövet nélkül)

Csúcs-tájé	Középtájé	Gyökértájé
0,20 $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$ (12 $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ ) $s = \pm 0,028$ ( $s = \pm 1,68$ ) CV = $\pm 14\%$	0,19 $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$ (11,4 $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ ) $s = \pm 0,044$ ( $s = \pm 2,64$ ) CV = $\pm 23\%$	0,25 $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$ (15 $\mu\text{g CO}_2 \cdot \text{h}/\text{cm}^2$ ) $s = \pm 0,051$ ( $s = \pm 3,06$ ) CV = $\pm 20\%$

$$\text{Jelmagyarázat: } CV = s\% = \frac{s \cdot 100}{\bar{x}}; \bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

részen a szövetek tömörsége eltérő, mégis úgy véljük, hogy inkább fiziológiai okokra vezethető vissza. Ugyanis az idő függvényében változik a légzés intenzitása, de korántsem párhuzamosan a csúcs, a közép és a gyökér tájékán.

A 2. táblázatban és a 2. ábrán látható, hogy a légzésintenzitás minimuma időben egybeesik ugyan mindhárom gumótájékon, de a maximum csak két esetben jelentkezik párhuzamosan; a csúcs-tájé légzési maximuma 14 órát (több mint fél napot!) késik a másik kettőhöz képest. A retek gumókat nem termosztátban tartottuk, hanem 20 és 22 °C közt változó



2. ábra

A tárolt retek sebzési (traumatogén) légzésének dinamikája a csúcs (1), a középső rész (2) és a gyökér (3) tájékán. Legmélyebb a dormancia a gumó csúcsa tájékán (1); a sebzés viszonylag csekély traumatogén reakciót vált ki. Ezzel szemben a gyökér tájékán (3) élénk a traumatogén reakció; az anyagcsere nagyobb aktivitást jelez. A gumó „ekvatoriális” közép tájékán (2) az aktivitás a két ellentétes pólus felé megközelítő átmenetet mutat

szobahőmérsékleten, amely azonban nem válthat ki nagyobb mérvű, főként pedig eltérő változásokat. Pl. 3 óra alatt  $0,16\text{--}0,23 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$  légzésváltozást, mint azt a csúcstájék két utolsó adata jelzi. Sokkal inkább arról lehet szó, hogy már megindulhatott az új enzimszintézis, amely a regenerációs folyamatok bevezetője. A vizsgált részekben ugyanis néhány négyzetcentiméternyi egyenes metszéspelületet kellett létesítenünk a gázcserét nehezítő erős bőrszövet eltávolítása céljából. Elkerülhetetlen volt tehát a sebzés. A teljesen sértetlen bőrszövet percnként csak kb.  $0,035 \mu\text{g}$  szén-dioxidot engedett át egy-egy  $\text{cm}^2$  felületen, ami nagyságrenddel csekélyebb mennyiség, mint a szabaddá tett élő szövetfelület légzéses  $\text{CO}_2$ -termelése, és így nem teszi lehetővé a különbségek biztos észlelését.

Még a bőrszövet alól feltárt élő szövetfelületek légzése is alacsony intenzitású ebben a nyugalmi időszakban. Pl. a burgonya raktározó parenchimája a bőrszövettől megfosztott  $1 \text{ cm}^2$  felületen átlag  $0,9 \mu\text{g}$  szén-dioxidot termel percnként ugyanebben a periódusban, vagyis négyszerre többet, mint a télietek.

## 2. táblázat

A tárolt retek gumó légzésváltozása a különböző részekben  
(Bőrszövet nélkül)

Időpont, óra	Csúcstájék	Középtájék	Gyökértájék
0 <sup>h</sup>	$0,19 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$	$0,21 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$	$0,24 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$
1 <sup>h</sup>	$0,20 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$	$0,23 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$	$0,31 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$
12 <sup>h</sup>	$0,16 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$	$0,13 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$	$0,19 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$
15 <sup>h</sup>	$0,23 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$	$0,17 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$	$0,27 \mu\text{g CO}_2 \cdot \text{min}/\text{cm}^2$

## Következtetések

A vizsgálat eredményei igazolják korábbi tapasztalatainkat, hogy a légzésmérés új módszerével viszonylag könnyűszerrel ellenőrizhetők a terménytárolás során végbemenő változások az anyagcserében, melynek egyik mutatója a légzés változó intenzitása.

A retek szárgumóját borító másodlagos sötét bőrszöveten keresztül csak minimális  $\text{CO}_2$  diffundál ki a belső szövetekből. Ennek oka nem egyedül a bőrszövet csökkent átjárhatósága, hanem az alatta rejlő szövetek légzési aktivitása is igen csekély a téli nyugalom idején.

A bőrszövet eltávolításával járó sebzés azonnal megváltoztatja a légzés intenzitását, de nem egyedül azáltal, hogy az élő parenchima jobban hozzáférhető. Más típusú, ún. traumatogén légzés kezdődik, melynek karakterét a grafikon ábrázolja, mégpedig három eltérő gumótájékon. Minden esetben megnő a légzés aktivitása a sebzést követő órában. Feltehetően megszűnik az a represszió, amely a  $\text{CO}_2$  kibocsátását fékezte; ezen nem pusztán a bőrszövet mechanikai akadálya értendő, hanem a dekarboxilálás enzimes folyamatát szabályozó kontroll átmeneti megszűnése. Leginkább azonban a roncsolt szövetrészek válnak az ugrásszerűen felszabaduló  $\text{CO}_2$  forrásaivá. Ezek a következtetések további ellenőrzésre szorulnak annál is inkább, minthogy a szakirodalom a traumatogén légzés kezdeti szakaszával behatóan nem foglalkozhatott, nem lévén olyan módszer birtokában, amely a légzés megváltozását közvetlenül a sebzés után akár másodpercek múlva is mérni tudná.

A grafikon további menete szerint több órácsökkenés következik; ez azonban nem valamiféle depresszió, hanem a folyamat eredeti menetének helyreállítása. Meg kell azonban

mondani, hogy ez a menet csak látszólag egyenletes, mivel a mérés első órája után a 12. óráig nem végeztünk mérést az éjszaka folyamán. Ettől kezdve újabb emelkedés következik a grafikonon, amit már ismer a szakirodalom, mégpedig a „de novo” enzimszintézis és más biokémiai folyamatok fázisaként, amelyek a regenerációt előkészítik.

A téli nyugalom állapotában lévő retek traumatogén légzésének lefolyása a gumó minden részén hasonló hullámjelenség, azonban amplitúdója erősen eltérő. A hajtás-tenyésztőkúp közelében ejtett sebzés helyén kevésbé élénk a változás menete, mint a gyökér közelében. Ebből két dologra lehet következtetnünk: az egyik az, hogy a gumók csaknem szabályos gömb alakja ellenére valamilyen fiziológiai polaritás áll fenn, másrészt kimondhatjuk, hogy a téli raktározásnak ebben az időszakában (február) a hajtás-tenyésztőkúp dormanciája mélyebb, mint a gyökérhez közel eső szöveteké. Ezt az észrevételt arra alapítjuk, hogy a dormancia ellenére igen különböző mértékű a sebzésre való reagálás a légzésmérés tükrében.

### Összefoglalás

A terménytárolás szolgálatában a légzéses  $\text{CO}_2$ -produkció (légzési veszteség) mérésének új módszerét próbáltuk ki. Tesztnövényként a fekete téliretekkel kísérleteztünk. Megállapítottuk, hogy a nyugvó állapotú retek gumója a téli hónapokban nagyon csekély légzéses anyagcserét folytat; februárban kisebb volt a légzés intenzitása, mint pl. a burgonyáé. A retek sértetlen bőrszövetén keresztül csak hosszabb időtartamú, kb. 1 órai méréssel lehetett minimális  $\text{CO}_2$ -kibocsátást megállapítani.

A retek gumó három különböző részén létesített érintőleges metszésekkel néhány  $\text{cm}^2$  felületen eltávolítottuk az akadályozó bőrszövetet, és most a jóval intenzívebb sebzési légzést kezdtük vizsgálni. A sebzéseket követő órában a  $\text{CO}_2$ -kibocsátás ugrásszerűen fokozódott, mégpedig leginkább a gyökér felé eső gumótájékon. Később a légzésintenzitás a kezdeti szint alá csökkent, majd a sebzés után 12 órával újból fokozódás következett. Ez a második fázis már a regeneráció feltételezhető előjele az anyagcserében.

Annak ellenére, hogy a vizsgált retek gumók megközelítően gömb alakúak voltak (Erfurti kerek fekete), mégis jól kivehető volt a fiziológiai polaritás. Legélénkebb volt a gyökér felőli szövetek légzése, és az intenzitás hullámzó változása is itt volt a legtagabb amplitúdójú.

Ezek az észleletek azt bizonyítják, hogy az új légzésvizsgáló módszer alkalmas arra, hogy a tárolás alatt végbemenő anyagcsere-változások intenzitását jelezze.

### Irodalom

- [1] FARKAS G.: Növényi anyagcsereélettan. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1968.
- [2] FRENÝÓ, V.: The initial phase of traumatogenic respiration. Acta Agron. Acad. Sci. Hung. **24**. 385—387. 1975.
- [3] FRENÝÓ V.: Eljárás és készülék gázelegyek egyes komponenseinek, főleg széndioxid-tartalmának meghatározására. Szabadalmi leírás, Országos Találmányi Hivatal; lajstromszám: 168832. — USA Patent: 3,961,895. — Angol szabadalom: 1,497,824. — NSZK szabadalom: 2,451,956. 1974—1977.
- [4] METLICKIJ, L. V.: A gyümölcsök és zöldségfélék biokémiája. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1975.
- [5] SOMOS A.: Zöldségtermesztés. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1975.

FRENÝÓ VILMOS  
ELTE Növényélettani Tanszék,  
Budapest

Érkezett: 1983. március 8.